



沧州市浅层高碘地下水成因及分布规律的初步探讨

赵振宏 田文法 (河北省地矿局第四水文地质工程地质大队)

提要 本文主要从沧州市浅层高碘地下水的分布规律及其环境地质条件、水化学特征等方面,探讨了浅层高碘地下水的成因主要与沧东海进堆积层中淤泥质土密切相关,其沉积环境为边缘潮泻湖相。浅层地下水中碘的分布规律受其明显的制约。

一、浅层地下水中碘的分布规律

本次环境地质调查点主要有勘探钻孔、地下水长期观测井及民用井,多为全孔进水结构,井深10—30m,仅有少数调查点井深在25m左右。通过调查,初步查明了本区浅层地下水中碘分布规律(见图1)。

1. 高碘区 主要分布于运河以东、王御史—宋家屯以北及姚庄子、西砖河一带,含碘量一般为200—500 $\mu\text{g/l}$,最高达1300 $\mu\text{g/l}$ 。

2. 中等碘区 主要分布于运河以西及王御史—宋家屯以南部分地区,含碘量一般50—200 $\mu\text{g/l}$,仅有个别井点含碘量200—280 $\mu\text{g/l}$ 。

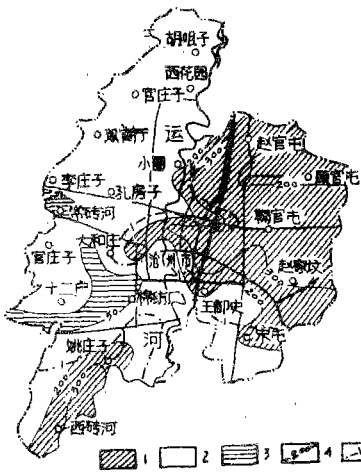


图1 沧州市浅层地下水 I^- 含量分布略图

1—高碘区; 2—中碘区; 3—低碘区; 4— I^- 含量等值线; 5— $\text{rNa}^+/\text{rCl}^-$ 等值线

3. 低碘区 呈片状分布于常砖河及十二户—棉纺厂一带。含碘量小于50 $\mu\text{g/l}$ 。

二、浅层地下水中碘形成与分布的环境地质条件

1. 自然地理条件 地势低洼、地形坡度平缓,尤其是洼地地形、地下水埋藏浅,往往是地下水迳流微弱或迳流滞缓的地区,从而控制了浅层地下水中碘的运移而有利于它的富集。

总体来说,沧州市地处河北平原东部,属冲积平原与滨海平原的交接部位,地势平坦、低洼,坑塘密布,地面高程6.0—10.0m,以0.13‰的坡降向东北倾。其中,本区运河以西地区地形平坦,地势相对较高,地面高程一般8.5—10.0m;而运河以东的本区东北部地势低洼,地面高程6.0—8.0m,土壤多盐碱化,有利于碘的富集。浅层地下水含碘量大于300 $\mu\text{g/l}$ 的界线与7.5m等高线基本吻合。

沧州市多年平均气温12.8℃,极端气温最高为40℃,最低为-19.5℃。年平均降雨量650.2mm,多集中在七、八月份;年平均蒸发量1945.4mm,约为降雨量的三倍,属半干旱气候,从而为浅层地下水中碘的浓缩富集提供了外在条件。

2. 地层及环境地球化学特征 本区地处沧县隆起的东部边缘部位。自新生代以来,堆积了巨厚层新生界地层,第四系沉积厚度约450—480m。据以往研究成果,自第四纪以来,本区先后受到青县海进,沧县海进、献县海进及沧东海进等四次海侵的影响。其中沧东海进和献县海进分别形成于全新世和晚更新世时期,是本文研究对象,其余此不赘述。

本区0—30m深度内沉积了两个陆相层和两个海相层:

(1)第一陆相层 层底深度4—8m。岩性为灰黄色、浅棕黄色粘土、亚粘土及亚砂土,具锈染及少量钙质结核,为河湖相为主的堆积。本层土体易溶盐 I^- 含量一般不高,多为20—80 $\mu\text{g/hg}$,总盐量44—184 $\mu\text{g/hg}$ 。而顶部 I^- 及其它离子含量相对较高,为蒸发毛细作用的结果。

(2)第一海相层 即沧东海相层。其层底深度12—16m,厚度6—11m。本层分布及岩性特征大致以运河为界,而垂向上又可分为三段。上段:运河东多为含淤泥质亚粘土及淤泥质粘土,有机质含量2.58—

6.0%，厚度0.8—3.8m，至运河西则渐变为灰黄色、浅灰色粘土、亚粘土，仅局部为含淤泥质亚粘土，有机质含量明显减少，厚度0.4—4.2m；中段：运河以东为灰黄色亚砂土，粉砂夹一层0.5—1.2m的含淤泥质亚粘土，有机质含量1.4—5.6%，累计厚度2.6—6.0m。至运河以西则渐变为厚层黄灰色、浅灰色亚砂土，粉砂夹黄灰色亚粘土层，有机质含量很少，累计厚度2.1—5.0m；下段：运河以东以淤泥质亚粘土及淤泥质粘土为主，含大量炭化或半炭化的植物碎屑及腐殖质，有机质含量4.1—9.0%，最大为20.9%，见有少量的光滑兰蛤等海相化石，厚度0.8—4.5m；运河以西为淤泥亚粘土，底部有0.05—0.1m泥炭层。本层有机质含量一般为3.5—5.5%厚度0.8—2.0m。

以往研究证明，沧东海进于黄骅、海兴近海一带发现有淡化近岸浅海、海湾型有孔虫群化石组合，向西至沧州市东部地区则渐变为卷转虫、希望虫、诺宁虫、口室虫等有孔虫及与之共生的海相弯贝介、似星介、*Neocyprideis*和淡水玻瑞介、土星介等介形虫化石组合，属极度淡化半咸水区域的边滩潮浦类型，而至沧州市运河一带仅见有似星介、*Mediothyridaeis*、*Neocyprideis*、与淡水介形虫共生，于沧州市西部逐渐尖灭。

本层中生活于温暖水域的暖水卷转虫 *Ammonia tepida* 含量达28%，孢粉资料也证明了当时气候是温潮湿的，其沉积环境属于还原环境。在这种气候及环境条件下，处于边滩潮浦地带，有利于植物和微体生物生长和繁殖，于是堆积了富含有机质的淤泥质土层，这就是为碘的富集提供了物质来源。

总之，沧东海进在本区东部堆积了厚为6.0—11.0m以淤泥质粘性土为主，向运河以西逐渐变为厚6.0—7.0m以亚砂土、粉砂为主的堆积物，从沉积相上表现为运河以东以边滩潮浦泻湖相为主，向西渐变为冲积相为主的规律。

通过对土体易溶盐分析结果的研究表明，运河以东本层上段及下段淤泥质粘土、淤泥质亚粘土中，碘含量较高，一般为40—200 $\mu\text{g}/\text{hg}$ ，最高为450 $\mu\text{g}/\text{hg}$ ，而运河以西与之相对应的地层中碘含量较低，一般为20—80 $\mu\text{g}/\text{hg}$ ，最高为130 $\mu\text{g}/\text{hg}$ ，且高碘土层厚度相对很薄，中段地层中含碘均不高，其值为0—50 $\mu\text{g}/\text{hg}$ 。另外需指出运河沿岸的姚庄子—西砖河一带有厚层含淤泥质粉砂分布，属河口相堆积，水盐交替强烈，土碘含量不高，一般10—80 $\mu\text{g}/\text{hg}$ 。

另外， Cl^- 、 Na^+ 及总盐量含量亦有运河东高于运河西的特点。

(3)第二陆相层 层底深度19.0—22.0m，厚度

4—9m。岩性为灰黄色亚粘土、亚砂土，局部有薄层粘土，含沼螺、旋螺等化石，底部偶见铁锰结核及钙质结核，为一套河湖相堆积物。土层碘含量不高，一般为10—30 $\mu\text{g}/\text{hg}$ 。

(4)第二海相层 即献县海进堆积层，位于第二陆相层之下，揭露厚度8.5—13.0m。岩性为灰黄色、浅棕黄色粘土、亚粘土、亚砂土夹薄层粉砂、粉细砂层，富含光滑兰蛤等海相软体动物化石，动物洞穴被粉土质充填，具中度锈染。本层顶部以一层富含钙质结核的粘土与上覆第二陆相层为界。据以往研究证明，本层中浅海类型的有孔虫占显著地位，分布范围大，遍及运河以东广大地区，海相介形虫和海相软体动物化石也十分丰富。其边界达本区以西的献县、河间、任邱一带。

根据土体易溶盐分析资料，本层碘含量较低，其值为0—60 $\mu\text{g}/\text{hg}$ ，而 Na^+ 、 Cl^- 及总盐量则相对较高。

本层中暖水卷转虫 *Ammonia tepida* 含量占40%以上，最高达66%，说明本次海进时期亦属温暖潮湿的气候，但本区处于浅海水域，不利于植物及微体生物的生长繁殖，于是就没有或很少有富含碘的海生生物的腐殖质土层的堆积，因此本层碘的含量相对不高。

各层的地球化学特征见图2及土体易溶盐主要离子含量统计表1。

碘的主要物质来源为海生植物及海生微体生物，这一观点已为人承认。而边滩潮浦泻湖环境中，有

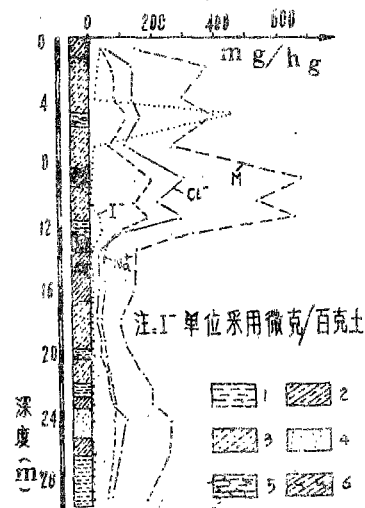


图2 HG33孔(运河东)易溶盐随深度变化曲线

1—粘土，2—亚粘土，3—亚砂土，4—粉砂，5—淤泥质粘土，6—淤泥质亚粘土

表 1 土体易溶盐主要离子含量统计表

离子含量		I^-	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	总盐量	pH值
分层		($\mu g/hg$)	(mg/hg)	(mg/hg)	(mg/hg)	(mg/hg)	(mg/hg)	(mg/hg)	(mg/hg)	
第一陆相层		20—80	3—48	10—50	20—45	9—49	1—15	1—5	44—184	8.1—8.5
第一海相层	运东	40—450	18—302	15—118	20—72	15—179	4—35	2—15	62—674	7.9—8.4
	运西	20—130	70—39	8—60	20—46	10—70	3—11	1—5	42—162	7.6—8.5
第二陆相层		0—30	8—35	2—50	17—40	12—45	2—10	1—5	45—147	8.2—8.9
第二海相层		0—60	11—121	4—112	15—72	18—102	1—10	2—10	63—358	8.1—9.0

大量的富含碘的海生生物在这种适宜的条件下生长、繁殖、死亡,最后残留在堆积物中,致使堆积物中富含海生生物残体及微体生物等有机质成份。这种堆积物十分有利于生物化学作用及与之有关的物理化学作用的进行。在缺氧还原的地球化学环境中,对淤泥溶液成分改变有影响的生物化学作用有:细胞分解、蛋白质分解、硫酸盐的生物化学还原、脱硝酸作用。细胞分解最终产生甲烷、氢和碳;蛋白质逐渐分解时,形成氨基化合物,有机酸盐及其它有机物等。有机物的分解最终会使水富集碘和溴。

从图1及上述分析可以看出,浅层地下水含碘量及分布与第一海相层土体的碘含量及分布有着较为明显的一致性。从岩性特征上则表现为第一海相层中海生生物聚集的淤泥质土的分布与浅层地下水高碘区的分布大致相同。

3. 水文地质条件

(1) 浅层地下水循环交替条件: 本区浅层地下水主要受大气降水补给, 地层渗透性及富水性均较差, 渗透系数一般为0.24—5.2m/d, 单位涌水量0.52—3.0t/(h·m), 其循环交替一般较弱, 但也有一定的差异, 其中, 运河以东高碘区浅层地下水埋深一般小于2m, 变幅也较小, 一般为0.5m, 以垂直蒸发为主要排泄方式, 地下水循环交替微弱, 有利于碘的富集, 这种类型属于地下水循环交替缓慢溶滤浓缩强的富集型, 而运河以西广大地区地下水埋深大多大于4m, 局部地带大于8m, 变幅一般为2.0m, 以人工开采及侧向迳流为主要排泄方式, 地下水循环交替相对较强, 较易于碘的流失, 而于地下水循环交替滞缓的下游地带富集, 这种类型为地下水循环交替强弱交接溶滤迁移富集型。西砖河—姚庄子一带浅层地下水碘富集即属此类型, 这一带属于浅层淡水发育区, 矿化度一般不高, 说明了浅层地下水循环交替条件的强烈。

(2) 浅层地下水离子系数特征: 采用离子系数特征、稀释曲线和微量元素特征等方法, 可以确定滨海地区地下水的成因。我们通过对本区浅层地下水 $\gamma Na^+/\gamma Cl^-$ 、滞留时间系数 $\gamma Cl^-/\gamma SO_4^{2-}$ 、脱硫酸系数 $\gamma SO_4^{2-}/(\gamma SO_4^{2-} + \gamma Cl^-)$ 等离子系数特征的分析研究, 认为市区及运河以东高碘区浅层地下水为古代滨海泻湖同生咸水、入渗型咸水和海相层盐分溶解形成的微咸水(或咸水)三种类型; 而运河以西地区大多为大陆型淡水, 局部可能为上述类型的微咸水、咸水经后期改造作用形成的淡水或微咸水。

高碘区的三个特征系数一般为 $\gamma Na^+/\gamma Cl^-$: 0.65—0.89、 $\gamma Cl^-/\gamma SO_4^{2-}$: 3.5—1.7、 $\gamma SO_4^{2-}/(\gamma SO_4^{2-} + \gamma Cl^-)$: 0.2—0.32。高碘区和中等碘区之间的界线与 $\gamma Na^+/\gamma Cl^- = 1$ 、 $\gamma Cl^-/\gamma SO_4^{2-} = 1.5$ 、 $\gamma SO_4^{2-}/(\gamma SO_4^{2-} + \gamma Cl^-) = 0.35$ 的界线基本吻合。而中等碘区三个特征系数分别为1.04—1.89、1.49—0.83、0.41—0.55; 低碘区分别为1.09—2.06、1.27—0.56、0.44—0.57。

另外, 碘、溴本身即是海相成因水的标型元素, 它们的富集与分布也反映了地下水的成因。

三、浅层高碘地下水的水化学特征

本区浅层高碘地下水的水化学类型主要为 $Cl \cdot SO_4 - Na \cdot Mg$ 、 $Cl - Na \cdot Mg$ 型, 矿化度一般为2.0—4.5g/l, 最高达13.9g/l, 总硬度40—180°H, pH值一般7.0—7.3, 最高为7.7, 属中性水。另于赵家坟砖厂取土坑壁上, 于地面以下6.0m处的淤泥质亚粘土层裂隙中见有大量铁锈地下水析出, 说明该层地下水中铁的有机络合物含量较高, 为中—酸性还原的水文地球化学环境, 从而反映了碘富集的环境水文地球化学条件。运河西中等碘区及低碘区水化学类型多为 $HCO_3 \cdot Cl - Na \cdot Mg$ 或 $Cl \cdot HCO_3 - Na \cdot Mg$ 型, 矿化度

0.5—2.0g/l, 总硬度11.0—40.0°H, pH值7.2—7.8, 最大为8.0, 属中性—弱碱性水。

本区浅层高碘地下水中碘含量与矿化度的关系, 据高碘区34个调查点水质分析资料统计, 二者存在较为明显的正向相关关系, 相关系数 $r = 0.61$, 碘含量200—350 $\mu\text{g/l}$ 的点大多集中在矿化度小于5g/l的区域内(图3)。

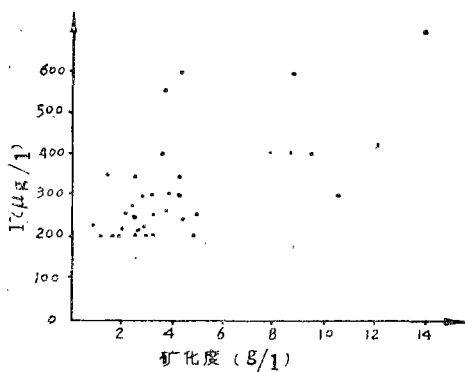


图3 碘与矿化度关系示意图

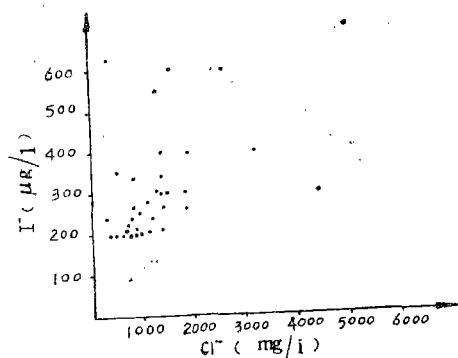


图4 碘与氯关系示意图

高碘地下水中碘与氯含量之间亦存在着较为明显正向相关性, 相关系数 $r = 0.65$, 从图4可看出, 当 Cl^- 含量为500—1500mg/l时, 碘含量一般为200—350 $\mu\text{g/l}$, 而当 Cl^- 含量大于1500mg/l时, 碘含量增高的并不明显。

同样, 碘与钠也存在着明显的正向相关性, 相关系数 $r = 0.70$, 其变化关系同氯与碘的变化关系相似, 因为氯和钠本身即是高度正相关(相关系数 $r = 0.95$)。除钠外碘与其它阳离子关系不明显。

另外, 本区浅层高碘地下水中含溴量较高, 据部分钻孔的水质分析资料统计表明, 碘与溴之间亦有较明显的正向相关关系, 碘含量大于200 $\mu\text{g/l}$ 的高碘区, 溴含量一般为1.0—3.0mg/l, 碘含量50—200 $\mu\text{g/l}$ 的

地区, 地下水中溴含量一般小于1.0mg/l或不含溴, 这说明了本区碘与溴具有相伴生的特点。

由上述对本区浅层高碘地下水的水化学特征的综合分析可以看出, 碘与矿化度、氯、钠、溴均具有正向相关关系, 这就更加说明了本区浅层高碘地下水的形成主要与海相或滨海泻湖相沉积有关。同时, 碘与矿化度、氯、钠、溴的相关特点, 也一方面反映了极度淡化半咸水区域的边滩潮浦泻湖相堆积层中, 地下水的氯、钠及矿化度含量虽不太高, 但碘含量则相对较高且较为集中, 而接近正常盐度或正常盐度的海水堆积物中, 其水碘含量并不一定高。

通过对本区浅层地下水的沉积环境、含水介质特征、浅层地下水的成因及浅层高碘地下水的水化学特征等方面的综合分析, 可以看出本区浅层高碘地下水的成因与富含有机质的第一海相层淤泥质土密切相关, 其沉积环境为边滩潮浦泻湖相, 有机物中富含海生生物, 它的分解会使地下水中富集碘。

本区浅层高碘地下水主要分布于咸水区, 但研究它对于研究滨海地区浅层地下水的区域水文地球化学特征和研究古沉积环境均具有较为重要的意义, 同时对于其它高碘地区的环境水文地质特征的研究亦具有一定的参考价值。

本文在编写过程中得到尹书贵同志的指导和帮助, 并承蒙李庆安同志审阅, 在此致谢。

《滑坡文集》第六集和《一九八五年兰州滑坡会议论文集》

由滑坡文集编委会主编, 中国铁道出版社出版。

《滑坡文集》共收集论文20余篇, 全书25万字。其主要内容包括滑坡防治方面有支挡、减载、反压、排水等各类工程措施; 测试方面有滑坡变形机理和抗滑桩模型试验等。此外, 还讨论了海底滑坡新问题和著名大滑坡的研究、发生、发展规律性及其防治。

《一九八五年兰州滑坡会议论文集》共收集论文79篇和摘要13篇, 全书共50余万字。其主要内容包括介绍我国近年来发生大型自然滑坡和工程地质滑坡的研究和治理效果; 滑坡的预测预报、监测研究; 滑坡的勘测方法, 稳定性评价、计算方法和试验方法等方面应用效果; 介绍与滑坡相近的崩塌、倾倒、塌方等现象的研究成果。

上述两本书可供从事地质、水利、冶金、煤矿、建筑工程、公路、铁路工程设计及科研人员、大中专院校师生参考书。

(邢开第)